

初期周波数の異なる複数周波数ステップを用いる多周波 FMCW 方式の提案 Multiple FMCW Radar using Multi Stepped Chirp with different leading frequency

渡部 淳 稲葉 敬之
Jun Watanabe Takayuki Inaba

電気通信大学大学院電気通信学研究科
Graduate School of Electro-Communications, The University of Electro-Communications

1. まえがき

代表的なレーダ方式の一つとして FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式がある。本方式は比較的軽い信号処理で高い距離分解能が得られる特徴を持つ。しかし、FMCW 方式は送信波に三角波状の up/down 掃引を用いることから、up 掃引、down 掃引それぞれで検出される各目標のビート周波数のペアリング誤作動の問題がある。

この問題に対して、初期周波数の異なる 2 種類の周波数ステップ(step-chirp)を用いた FMSK(Frequency Modulated Shift Keying)方式が報告されている[1]。この方式では 2 つの step-chirp の周波数ステップから得られるビート周波数の周波数がほぼ等しくなることを利用し、2 つの周波数スペクトル間の位相差を用いることでペアリング誤作動を生じることなく目標の距離・速度推定を可能としている。しかし、この FMSK 方式は 2 周波 CW 方式と同様、一つのビート周波数上に複数の目標信号が存在した場合、これらの目標信号を分離出来ず、誤った位相差情報を得てしまうという課題がある。

本稿では上記課題に対し、初期周波数の異なる複数の周波数ステップ(step-chirp)を用いる**多周波 FMCW 法**を提案する。提案法では FMSK 方式と同様、ペアリング誤作動の問題を回避可能である。また複数の step-chirp から得られる各目標ビート周波数の位相データ(近距離目標では周期性信号でなく位相勾配となる)へ、超分解能法を適用することで、同一ビート周波数の近距離多目標を分離することが期待される。更に 24GHz 帯ソフトウェアレーダ装置[2]を用いて実験にて提案法の有効性評価を行ったので報告する。

2. 多周波 FMCW 方式

提案する多周波 FMCW 方式の送信シーケンス図を図 1 に示す。送信機で生成された CW 波は、図 1 に示すステップ状に周波数が増加する step - chirp で送信される。目標からの反射波は同一ステップ長 T_p 内に受信され、M 波の step-chirp の順に N 回繰り返される。受信された信号は受信機内で Local とミキシングされ LPF (Low Pass Filter)、A/D 変換機を経由し、ビート信号となる。

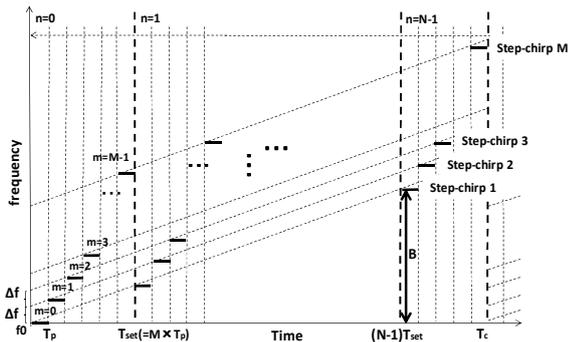


図 1、多周波 FMCW 方式の送信シーケンス図

このビート信号を step-chirp 毎にフーリエ変換 (FFT) を行うことで M 個のビート周波数が得られ、それぞれがほぼ等しい値となる。ここで求められる目標の距離・速度に依存したビート周波数 f_b は式(1)に示される。提案法ではこの M 個の周波数スペクトルから微小な位相勾配を求めため、超分解能法を用いている。これより得られる目標の距離・速度に依存した位相値 Φ を式(2)に示す。

$$f_b = -\frac{2\mu}{c}R - \frac{2f_0}{c}v \quad \dots (1)$$

$$\Phi = 2\pi \left\{ \frac{2(\mu \cdot T_p + \Delta f)}{c}R + \frac{2 \cdot T_p \cdot f_0}{c}v \right\} \quad \dots (2)$$

ここで、 f_0 は搬送波周波数、 c は光速、 μ は掃引 FMCW 波の傾き、 Δf は掃引 FMCW 波の周波数差、 R と v はそれぞれ目標の距離と速度である。式(1)と式(2)から代数的に目標の距離と速度が推定される。

3. 多周波 FMCW 方式の実験

24GHz 特定小電力無線局規定に準拠したパラメータ設計を行った(表 1)。今回、位相勾配の導出には超分解能法の一つである MUSIC (Multiple Signal Classification) 法を採用している。尚、漏れ込み信号の影響を低減するため、FFT の前処理として MTI を付与している。提案法における実験結果を以下に示す。本実験で使用した 24GHz ソフトウェアレーダ装置には距離バイアス +0.593[m] を生じることが確認されているため、表 2 の結果は補正を行っている。

表 1 レーダパラメータ

搬送波周波数 f_0	24.15GHz
周波数帯域幅 B (距離分解能)	22.99MHz (6.52m)
掃引 FMCW 波間隔 Δf (距離アンビグエティ)	7MHz (21.42m)
掃引 FMCW 波の傾き μ	701.9MHz/s
掃引 FMCW 数 M	8
1 ステップ長 T_p	2 μ s
観測時間 T_c (速度分解能)	32.77ms(0.683km/h)
step-chirp のステップ数	2048
目標物 (目標数)	コーナリフレクタ 2 個

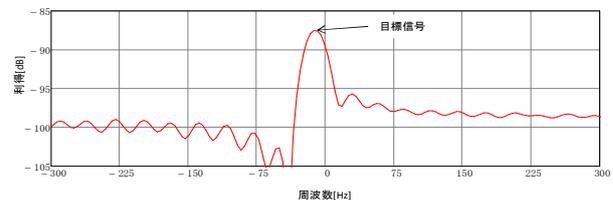


図 2、FFT 出力結果

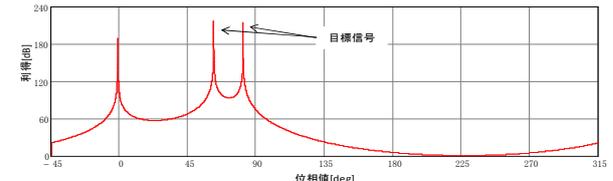


図 3、MUSIC 出力結果

表 2 目標の設定値、推定値

	設定値		推定値	
	距離[m]	速度[km/h]	距離[m]	速度[km/h]
目標①	3.204	0	3.104	-0.131
目標②	4.262	0	4.254	-0.251

図 2 の FFT 出力結果(周波数)で分離出来ない近接 2 目標に対し、得られたビート周波数から FFT では導出不可能な各目標の持つ位相勾配を MUSIC にて求める(図 3)ことで目標の分離を実験的に確認した。

4. むすび

FMCW 方式および FMSK 方式の課題であったペアリング誤作動、同一ビート周波数上の複数目標分離を改善する多周波 FMCW 方式を提案した。実験より、FFT の距離分解能が 6.5m に対し、距離差 1m に設定した静止 2 目標の分離を確認した。本研究の一部は科研費(課題番号: 21246062)によりなされた。

参考文献

- [1] 廣川裕祐, 稲葉敬之, "FMSK方式の24GHz車載レーダへの適用", 2010年電子情報通信学会総合大会, B-2-39, 2010-03
- [2] 塚田淳, 植松天貴, 野田光, 矢野公大, 稲葉敬之, "ソフトウェアレーダの構築と各種レーダ方式の実験的検証", 信学技報, pp.1-6, Nov.2010